

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

EP04/9555

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

103 40 713.8

**Anmeldetag:**

04. September 2003

**Anmelder/Inhaber:**

STEAG Aktiengesellschaft, 45128 Essen/DE

**Bezeichnung:**Verfahren zum Bestimmen der Restlebens-  
dauer von Trossen**IPC:**

G 01 N 17/00

REC'D 23 NOV 2004

WIPO PCT

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. September 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Dzierzon

BEST AVAILABLE COPY

S1512  
Hs-fu

STEAG Aktiengesellschaft  
Rüttenscheider Straße 1 - 3  
45128 Essen

5      **Verfahren zum Bestimmen der Restlebensdauer von Trossen**

**Zusammenfassung**

10      Neben einer elastischen Trosse, die über ein Lastüberwachungssystem an einer Boje befestigt ist und zum Vertäuen eines antriebslosen Wasserfahrzeugs dient, wird eine Test-Trosse ausgelegt, die aus einzelnen, lösbar aneinander befestigten Abschnitten besteht. Die Abschnitte werden in vorgegebenen Zeitabständen von der Trosse abgetrennt und auf ihre  
15      Mindestbruchlast geprüft. Im Verhältnis zur ursprünglichen Mindestbruchlast ergibt sich ein Faktor A, der den Tragkraftverlust in Folge der Umwelteinflüsse abbildet. Außerdem wird auf der Basis des vom Lastüberwachungssystem gelieferten Lastspektrums und einer vorher erstellten Ermüdungskurve  
20      ein Faktor B ermittelt, der den Tragkraftverlust in Folge der Lasteinflüsse abbildet. Eine Multiplikation der Koeffizienten ergibt einen Reduktionsfaktor. Aus den Reduktionsfaktoren sämtlicher Abschnitte der Test-Trosse wird ein Restfestigkeits-Diagramm erstellt, das mit der realen Rest-  
25      festigkeit der elastischen Trosse nach deren Abbau verglichen werden kann, um das über die Test-Trosse ermittelte Ergebnis zu bestätigen. Bei einer zukünftigen elastischen Trosse wird in Zeitabständen der Koeffizient B erfaßt, und zwar über das aktuelle Lastspektrum des Lastüberwachungssystems und die Ermüdungskurve. Außerdem wird für den jeweiligen Zeitpunkt der Koeffizient A erfaßt. Man greift ihn aus einem umweltabhängigen Diagramm ab, in welchem die mit der Test-Trosse ermittelten Koeffizienten A über der Zeit aufgetragen sind. Die Multiplikation der Koeffizienten A und B

ergibt dann den aktuellen Reduktionsfaktor  $<1$ , der, multipliziert mit der ursprünglichen Mindestbruchlast, zur aktuellen Restfestigkeit führt. Aus dieser läßt sich unter Einbeziehung eines Sicherheitsfaktors die restliche Lebensdauer  
5 abschätzen.

S1512  
Hs-fu

### **Verfahren zum Bestimmen der Restlebensdauer von Trossen**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Restlebensdauer von aus Einzelfäden bestehenden elastischen Trossen, die zum Vertäuen eines Wasserfahrzeugs an einer zugehörigen Boje dienen.

Steht kein geschützter Hafen zur Verfügung, müssen große Schiffe vor der Küste in kleinere Wasserfahrzeuge entladen werden. Letztere können die Küste auch nur bei entsprechend günstigen Wetterbedingungen anlaufen. Schlechtes Wetter muß vor der Küste abgewartet werden. Sofern die kleineren Wasserfahrzeuge über einen eigenen Motor verfügen, können sie das schlechte Wetter vor der Küste "abreiten". Dies verbietet sich bei Wasserfahrzeugen ohne eigenen Antrieb. Diese werden daher so lange an einer zugehörigen Boje vertäut, bis die Wetterbedingungen ein Anlaufen der Küste gestatten.

Man verwendet hierzu die aus Einzelfäden bestehenden elastischen Trossen, und zwar in der Regel eine einzige Trosse pro Wasserfahrzeug. Elastisch müssen die Trossen deshalb sein, weil sonst die auftretenden Belastungen nicht aufgenommen werden könnten. Durch die Elastizität der Trossen lassen sich die auftretenden Belastungen von größenordnungsmäßig einigen tausend Tonnen auf größenordnungsmäßig einige hundert Tonnen reduzieren. Voraussetzung ist, daß sich die Trossen unter Extrembedingungen um mehr als 30 % dehnen lassen.

Erfahrungsgemäß eignen sich hierzu Trossen aus Nylon-Einzelfäden mit einer Länge von mehreren hundert Metern und einem Durchmesser von 10 bis 20 cm. Derartige Trossen sind naturgemäß teuer. Auch fallen für Installationsarbeiten, Transport, Mobilisierung, Gebühren etc. erhebliche Kosten an.

Bisher besteht keine Möglichkeit, die Lebensdauer der Trossen zuverlässig abzuschätzen. Die Hersteller schreiben

daher vor, die Trossen aus Sicherheitsgründen nach 6 bis 12 Monaten auszuwechseln.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine lebensdauergerichte Auswechslung der Trossen zu ermöglichen.

5 Zur Lösung dieser Aufgabe kennzeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren dadurch, daß

- für die Fäden der Trosse durch dynamische Versuche eine Ermüdungskurve erstellt wird,

- aus dem Material der Trosse eine Test-Trosse hergestellt wird, die aus einer Reihe von lösbar aneinander befestigten Abschnitten besteht,

- die Mindestbruchlast der Abschnitte der Test-Trosse ermittelt wird,

- das Wasserfahrzeug mit einer der elastischen Trossen unter Zwischenschaltung eines Lastüberwachungssystems an der zugehörigen Boje vertäut wird,

- benachbart zur elastischen Trosse die Test-Trosse ausgelegt wird,

- von der Test-Trosse in vorgegebenen Zeitabständen 20 Abschnitte abgenommen werden,

- für jeden abgenommenen Abschnitt der Test-Trosse die Mindestbruchlast ermittelt und unter Bezugnahme auf die ursprüngliche Mindestbruchlast ein erster Koeffizient A gebildet wird, welcher den Tragkraftverlust in Folge der 25 Umwelteinflüsse abbildet,

- aus den für sämtliche Abschnitte der Test-Trosse ermittelten Koeffizienten A ein umweltabhängiges Diagramm über der Zeit erstellt wird,

- jedem ersten Koeffizienten (A) ein zweiter Koeffizient 30 (B) zugeordnet wird, der für den Zeitpunkt der Abnahme des zugehörigen Abschnitts der Test-Trosse auf der Basis des vom Lastüberwachungssystem gelieferten Lastspektrums (Belastungshäufigkeit und -stärke über der Zeit) aus der Ermüdungskurve ermittelt wird und den Tragkraftverlust in Folge 35 der Lasteinflüsse abbildet,

- die Paare von Koeffizienten A und B zur Bildung von Reduktionsfaktoren miteinander multipliziert werden,

- am Ende der Testphase die elastische Trosse abgebaut, deren Restfestigkeit ermittelt und zur Bildung eines realen  
5 Reduktionsfaktors mit der ursprünglichen Mindestbruchlast ins Verhältnis gesetzt wird, so daß ein Vergleich mit dem für denselben Zeitpunkt über die Test-Trosse ermittelten Reduktionsfaktor ermöglicht wird,

- die aktuellen Reduktionsfaktoren einer zukünftigen  
10 Trosse aus dem Koeffizienten B, ermittelt über die Ermüdungskurve und das aktuelle Lastspektrum, sowie aus dem Koeffizienten A, abgegriffen aus dem umweltabhängigen Diagramm, gebildet werden,

- aus den aktuellen Reduktionsfaktoren einer zukünftigen  
15 Trosse deren Restlebensdauer unter Einbeziehung eines Sicherheitsfaktors abgeschätzt wird.

Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis, daß die Lebensdauer der elastischen Trosse abhängig ist zum einen von den mechanischen Belastungen, nämlich von deren Höhe  
20 sowie von der Anzahl der Lastwechsel, und zum anderen von den jeweiligen Umweltbedingungen, die selbstverständlich von Einsatzort zu Einsatzort unterschiedlich sein können. In das Lastspektrum gehen neben dem Wellenspektrum (Höhe, Länge und Häufigkeit der Wellen) vor allem auch Wind- und Strömungsbe-  
25 dingungen ein. Die Umwelteinflüsse werden bestimmt vor allem durch den Salzgehalt und die Temperatur des Wassers, die Intensität der UV-Strahlung und die Wasserbiologie, die für den Bewuchs der Trosse ausschlaggebend ist. Ferner spielt auch die Wasseraufnahmefähigkeit der Trosse eine Rolle.

30 Das Verfahren nach der Erfindung ermöglicht eine Überlagerung dieser Parameter. Der erste Koeffizient A berücksichtigt den Festigkeitsverlust der Trosse, der aus den aktuellen Umwelteinflüssen resultiert, während der zweite Koeffizient B den auf das Lastspektrum zurückgehenden Festigkeits-

verlust repräsentiert. Die Kombination der beiden Koeffizienten ergibt dann den eigentlichen Reduktionsfaktor.

Gerechnet wird mit der Mindestbruchlast, da sich diese experimentell ermitteln und mit den Angaben des Herstellers vergleichen läßt. Ausschlaggebend ist natürlich diejenige Last, die einen vorgegebenen Sicherheitsabstand zur Mindestbruchlast einhält. Eine entsprechende Berücksichtigung erfolgt durch Ansatz des Sicherheitsfaktors.

Der Reduktionsfaktor, der  $< 1$  ist, wird mit der ursprünglichen Mindestbruchlast multipliziert und ergibt die verbleibende Mindestbruchlast, die unter Einbeziehung des Sicherheitsfaktors eine Abschätzung der Restlebensdauer zuläßt.

Vorzugsweise wählt man die Anzahl der Abschnitte der Test-Trosse und den Abnahmezyklus derart, daß die vom Hersteller empfohlene Lebensdauer der elastischen Trosse überschritten werden kann. Man wird eine derartige Überschreitung riskieren können, wenn es sich aus der über die Test-Trosse ermittelten Restfestigkeit ergibt, daß noch ein erhebliches Potential an Restfestigkeit zur Verfügung steht. Die elastische Trosse kann unter diesen Bedingungen unbedenklich noch eine Zeitspanne in Betrieb bleiben. Ist sie dann abgebaut worden, läßt sich nachweisen, daß die tatsächliche Restfestigkeit der elastischen Trosse mit der über die Test-Trosse ermittelten Restfestigkeit übereinstimmt.

Die Reduktionsfaktoren der Abschnitte der Test-Trosse werden vorzugsweise als Restfestigkeits-Diagramm über der Zeit aufgetragen, wobei die besonders vorteilhafte Möglichkeit besteht, das Restfestigkeits-Diagramm über die Testphase hinaus zu extrapolieren.

Aus Gründen der Praktikabilität empfiehlt es sich, eine Test-Trosse zu verwenden, deren Durchmesser kleiner ist als der der elastischen Trosse. Wie erwähnt, beträgt der Durchmesser der elastischen Trosse 10 bis 20 cm. Als Durchmesser der Test-Trosse haben sich 4 bis 5 cm bewährt.

Um die Test-Trosse exakt denselben Umweltbedingungen wie die elastische Trosse auszusetzen, ist es vorteilhaft, die beiden Trossen miteinander zu verbinden. Im Hinblick auf den Durchmesserunterschied ist dies für die Steifigkeit der elastischen Trosse nur von vernachlässigbarer Bedeutung. Wesentlich ist allerdings, die gegenseitige Verbindung reibungsfrei zu gestalten, um diesbezügliche Einflüsse auf die Tragkraft der beiden Trossen zuverlässig auszuschließen.

Es ist davon auszugehen, daß eine Abnahme der Abschnitte der Test-Trosse in Zeitabständen von drei Monaten einen optimalen Kompromiß darstellt, und zwar zum einen im Hinblick auf den Aufwand bei der Erstellung des Restfestigkeits-Diagramms und zum anderen im Hinblick auf dessen Genauigkeit.

In wesentlicher Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß in Abhängigkeit von einem Vergleich zwischen den Ergebnissen von Vorversuchen und den Herstellerangaben die Bestimmung der Mindestbruchlast der abgenommenen Abschnitte der Test-Trosse durch Tests an den Abschnitten selbst oder durch Einzelfadentests an deren Fäden durchgeführt wird. Man wird diejenige Bestimmungsmethode wählen, deren Ergebnis den höchsten Grad der Übereinstimmung mit den Angaben des Herstellers ergibt.

Die dynamischen Versuche zum Erstellen der Ermüdungskurve werden vorteilhafterweise an Einzelfäden durchgeführt, wobei ein weiteres vorteilhaftes Merkmal darin besteht, die Ermüdungskurve ähnlich einer Wöhler-Kurve zu erstellen.

Ferner wird in Weiterbildung der Erfindung vorgeschlagen, die Koeffizienten B durch Ansatz der auf den Stahlbau zurückgehenden "Palgren-Miner-Hypothese" zu ermitteln.

Ferner wird in Weiterbildung der Erfindung vorgeschlagen, eine Test-Trosse zu verwenden, deren Länge nicht unter die Mindestlänge der vor Ort überwiegend zu erwartenden Wellenlängen sinkt. Dies kann dadurch geschehen, daß man die Länge der einzelnen Abschnitte der Test-Trosse entsprechend wählt, was unter Umständen recht aufwendig ist. Vorteilhaft-



ter kann es daher sein, die Test-Trosse über einen Verlängerungs-Abschnitt mit der zugehörigen Boje zu verbinden.

Lediglich der Verlängerungs-Abschnitt muß dabei an die vor Ort überwiegend zu erwartenden Wellenlängen angepaßt sein.

5 Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin,

- daß an den Enden der Abschnitte der Test-Trosse Schlaufen angespleißt werden,

- daß die Schlaufen benachbarter Abschnitte übereinandergelegt werden und

- daß die Stränge der übereinanderliegenden Schlaufen umwickelt werden. Dies stellt eine sehr einfache Verbindung zwischen den einzelnen Abschnitten dar, die sich darüber hinaus problemlos lösen läßt.

15 Im folgenden wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt in:

Figur 1 in schematischer Darstellung eine Test-Trosse;

Figur 2 eine Zusammenstellung der zusätzlich zu bestel-

20 lenden Elemente.

Die Test-Trosse nach Figur 1 ist an einer Boje 1 befestigt. Letztere dient auch zur Befestigung der nicht-dargestellten elastischen Trosse, an der ein ebenfalls nicht dargestelltes Wasserfahrzeug im Falle eines Sturms vertäut

25 wird. Die Test-Trosse besteht aus einem Verlängerungs-Abschnitt 2, dessen Länge an die Mindestlänge der vor Ort überwiegend zu erwartenden Wellenlängen angepaßt ist, sowie aus sechs anschließenden Abschnitten, nämlich den Abschnitten 3 bis 8. Die Abschnitte 3 bis 8 sind von gleicher Länge und besitzen, ebenso wie der Abschnitt 2, einen Durchmesser von 4,5 cm. Im Vergleich dazu beträgt der Durchmesser der elastischen Trosse 16 cm. Die Abschnitte 2 bis 8 sind, wie schematisch angedeutet, lösbar miteinander verbunden.

Figur 2 zeigt drei weitere Abschnitte 9 bis 11, die mit 35 den Abschnitten 3 bis 8 übereinstimmen, sowie einen

Abschnitt 12 ohne Befestigungsenden, der zur Entnahme von Einzelfäden dient.

Die Fäden der Test-Trosse stimmen, abgesehen von ihrer Länge, mit den Fäden der elastischen Trosse überein.

- 5 Der Trossenhersteller hat Angaben zur Mindestbruchlast der Test-Trosse geliefert. Diese werden anhand der Abschnitte 9 bis 11 überprüft. Durch Verwendung von drei Abschnitten können gewisse Schwankungen ausgemittelt werden. Parallel dazu werden Tests an Einzelfäden durchgeführt, die  
10 man dem Abschnitt 12 entnommen hat. Aus diesen Einzelfadentests wird gemäß DIN EN 919 die Mindestbruchlast der Abschnitte 3 bis 8 ermittelt. Anschließend vergleicht man die Testergebnisse mit den vom Hersteller gelieferten Angaben und entscheidet, ob die Prüfung der Abschnitte 3 bis 8  
15 nach ihrer Entnahme entweder nach der erstgenannten oder nach der zweitgenannten Methode erfolgen soll.

- Zu den Vorversuchen gehört ferner die Erstellung einer S-N-Ermüdungskurve ähnlich einer Wöhler-Kurve, und zwar auf der Basis von Einzelfäden, die wiederum dem Abschnitt 12  
20 entnommen worden sind. Damit sind die Vorversuche beendet.

- Es erfolgt das Auslegen der elastischen Trosse und deren Befestigung an der Boje 1, und zwar unter Zwischenschaltung eines nicht-dargestellten Lastüberwachungssystems. Sodann wird die Test-Trosse ausgelegt und reibungsfrei mit der elastischen Trosse verbunden.  
25

- Nach Ablauf von drei Monaten entnimmt man der Test-Trosse den Abschnitt 8 und ermittelt dessen Mindestbruchlast, und zwar, in Abhängigkeit von der oben getroffenen Entscheidung, entweder durch Prüfung des Abschnitts selbst  
30 oder durch Einzelfadentests. Bezogen auf die ursprüngliche Mindestbruchlast ergibt sich ein Faktor A, der den Tragkraftverlust infolge der Umwelteinflüsse abbildet.

- Außerdem wird die vorher ermittelte Ermüdungskurve über die "Palgren-Miner-Hypothese" mit dem vom Überwachungssystem  
35 zum Zeitpunkt der Abnahme des Abschnitts 8 gelieferten Last-

spektrum verknüpft, woraus ein Faktor B resultiert, der den Tragkraftverlust in Folge der Lasteinflüsse abbildet.

Die Faktoren A und B werden miteinander multipliziert und ergeben einen Reduktionsfaktor.

5 In gleicher Weise wird mit den Abschnitten 7, 6 und 5 verfahren.

Die Koeffizienten der Abschnitte 8 bis 5 werden als umweltabhängiges Diagramm über der Zeit aufgetragen. Ferner kann aus den Reduktionsfaktoren ein lastspektrum- und umweltabhängiges Restfestigkeits-Diagramm erstellt werden, das  
10 sowohl die Umwelt- als auch die Lasteinflüsse repräsentiert.

Nach Entnahme des Abschnitts 5 ist ein Jahr verstrichen. Zeigt das Restfestigkeitsdiagramm, daß noch ein erheblicher Überschuß an Restfestigkeit vorhanden ist, setzt man die  
15 Testserie mit den Abschnitten 4 und 3 fort.

Nach dem Abbau der elastischen Trosse wird deren Restfestigkeit, also die reale Mindestbruchlast ermittelt, wobei im Hinblick auf den Durchmesser der elastischen Trosse lediglich Einzelfadentests in Frage kommen. Durch einen Vergleich mit der zum Abbauzeitpunkt der elastischen Trosse  
20 über die Test-Trosse ermittelten Restfestigkeit wird sichergestellt, daß letztere mit der realen Restfestigkeit der elastischen Trosse übereinstimmt. Ggf. ist eine Extrapolation des Restfestigkeits-Diagramms möglich.

25 Zur Bestimmung der Lebensdauer einer zukünftigen elastischen Trosse wird in Zeitabständen der Koeffizient B ermittelt, und zwar auf der Basis des aktuellen Lastspektrums und der vorliegenden Ermüdungskurve durch Ansatz der "Palgren-Miner-Hypothese". Außerdem wird für denselben Zeitpunkt der  
30 Koeffizient A aus dem umweltabhängigen Diagramm abgegriffen. Eine Multiplikation der Koeffizienten A und B ergibt den aktuellen Reduktionsfaktor  $<1$ , der durch Multiplikation mit der ursprünglichen Mindestbruchlast zur aktuellen Restfestigkeit führt. Unter Ansatz des Sicherheitsfaktors läßt  
35 sich dann die restliche Lebensdauer abschätzen.

Im Rahmen der Erfindung sind durchaus Abwandlungsmöglichkeiten gegeben. So kann auf den Verlängerungs-Abschnitt 2 verzichtet werden, sofern die Abschnitte 3 bis 8, bezogen auf die vor Ort überwiegend zu erwartenden Wellenlängen, 5 ausreichend lang sind. Ferner ist die Testreihe nicht auf sechs Abschnitte beschränkt, sondern kann durchaus zusätzliche Abschnitte aufweisen, die die Testzeit entsprechend verlängern. Letzteres ist auch dadurch möglich, daß man den Abnahmezyklus der Abschnitte verlängert. Auch kann der Abnahmezyklus verkürzt werden, sofern differenziertere Ergebnisse 10 erwünscht sind.

In der Regel wird man davon ausgehen müssen, daß die kritischen Parameter von Einsatzort zu Einsatzort unterschiedlich sind. Dementsprechend wird für jeden Einsatzort 15 eine spezielle Testreihe erforderlich sein. Gleiches gilt im Hinblick auf unterschiedliches Trossenmaterial. Sollten allerdings identische Verhältnisse vorliegen, sind die Ergebnisse übertragbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Restlebensdauer von aus  
Einzelfäden bestehenden elastischen Trossen, die zum Ver-  
5 täuen eines Wasserfahrzeugs an einer zugehörigen Boje die-  
nen, wobei
- für die Fäden der Trosse durch dynamische Versuche  
eine Ermüdungskurve erstellt wird,
  - aus dem Material der Trosse eine Test-Trosse herge-  
10 stellt wird, die aus einer Reihe von lösbar aneinander befe-  
stigten Abschnitten besteht,
  - die Mindestbruchlast der Abschnitte der Test-Trosse  
ermittelt wird,
  - das Wasserfahrzeug mit einer der elastischen Trossen  
15 unter Zwischenschaltung eines Lastüberwachungssystems an der  
zugehörigen Boje vertäut wird,
  - benachbart zur elastischen Trosse die Test-Trosse aus-  
gelegt wird,
  - von der Test-Trosse in vorgegebenen Zeitabständen  
20 Abschnitte abgenommen werden,
  - für jeden abgenommenen Abschnitt der Test-Trosse die  
Mindestbruchlast ermittelt und unter Bezugnahme auf die  
ursprüngliche Mindestbruchlast ein erster Koeffizient A  
gebildet wird, welcher den Tragkraftverlust in Folge der  
25 Umwelteinflüsse abbildet,
  - aus den für sämtliche Abschnitte der Test-Trosse  
ermittelten Koeffizienten A ein umweltabhängiges Diagramm  
über der Zeit erstellt wird,
  - jedem ersten Koeffizienten A ein zweiter Koeffizient  
30 (B) zugeordnet wird, der für den Zeitpunkt der Abnahme des  
zugehörigen Abschnitts der Test-Trosse auf der Basis des vom  
Lastüberwachungssystem gelieferten Lastspektrums (Bela-  
stungshäufigkeit und -stärke über der Zeit) aus der Ermü-

ditionskurve ermittelt wird und den Tragkraftverlust in Folge der Lasteinflüsse abbildet,

- die Paare von Koeffizienten A und B zur Bildung von Reduktionsfaktoren miteinander multipliziert werden,

5     - am Ende der Testphase die elastische Trosse abgebaut, deren Restfestigkeit ermittelt und zur Bildung eines realen Reduktionsfaktors mit der ursprünglichen Mindestbruchlast ins Verhältnis gesetzt wird, so daß ein Vergleich mit dem für denselben Zeitpunkt über die Test-Trosse ermittelten

10 Reduktionsfaktor ermöglicht wird,

- die aktuellen Reduktionsfaktoren einer zukünftigen Trosse aus dem Koeffizienten B ermittelt über die Ermüdungskurve und das aktuelle Lastspektrum, sowie aus dem Koeffizienten A, abgegriffen aus dem umweltabhängigen Diagramm,

15 gebildet werden und

- aus den aktuellen Reduktionsfaktoren einer zukünftigen Trosse deren Restlebensdauer unter Einbeziehung eines Sicherheitsfaktors abgeschätzt wird.

20     2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Reduktionsfaktoren der Abschnitte der Test-Trosse als Restfestigkeits-Diagramm über der Zeit aufgetragen werden.

25     3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Restfestigkeits-Diagramm über die Testphase hinaus extrapoliert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch

30 gekennzeichnet, daß eine Test-Trosse verwendet wird, deren Durchmesser kleiner ist als der der elastischen Trosse.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Test-Trosse reibungsfrei mit der

35 elastischen Trosse verbunden wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abschnitte der Test-Trosse in Zeitabständen von drei Monaten abgenommen werden.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit von einem Vergleich zwischen den Ergebnissen von Vorversuchen und den Herstellerangaben die Bestimmung der Mindestbruchlast der abgenommenen Abschnitte der Test-Trosse durch Tests an den abgenommenen Abschnitten selbst oder durch Einzelfadentests an deren Fäden durchgeführt wird.

10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die dynamischen Versuche zum Erstellen der Ermüdungskurve an Einzelfäden durchgeführt werden.

15

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermüdungskurve ähnlich einer Wöhler-Kurve erstellt wird.

20

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten B durch Ansatz der "Palgren-Miner-Hypothese" ermittelt werden.

25

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Test-Trosse verwendet wird, deren Länge nicht unter die Mindestlänge der vor Ort überwiegend zu erwartenden Wellenlängen sinkt.

30

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Test-Trosse über einen Verlängerungs-Abschnitt mit der zugehörigen Boje verbunden wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet,

- daß an den Enden der Abschnitte der Test-Trosse Schlaufen angespleißt werden,

5      - daß die Schlaufen benachbarter Abschnitte übereinandergelegt werden und

- daß die Stränge der übereinanderliegenden Schlaufen umwickelt werden.



Fig. 1

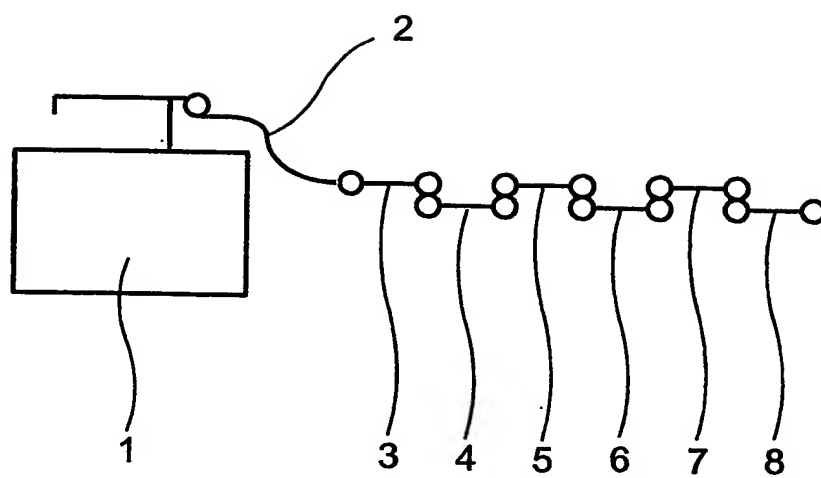


Fig. 2

